



Home



Search



List

☐ Include

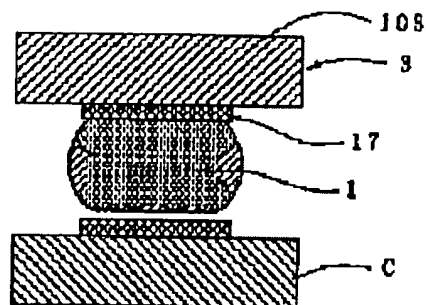
## MicroPatent® PatSearch FullText: Record 1 of 1

Search scope: US Granted US Applications EP-A EP-B WO JP ; Full patent spec.

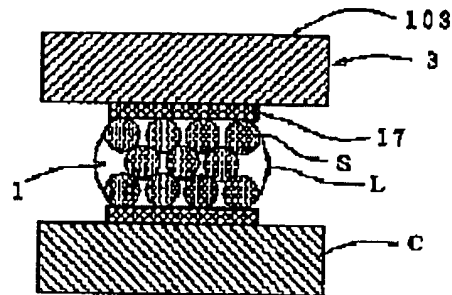
Years: 1971-2002

Text: Patent/Publication No.: JP10163270

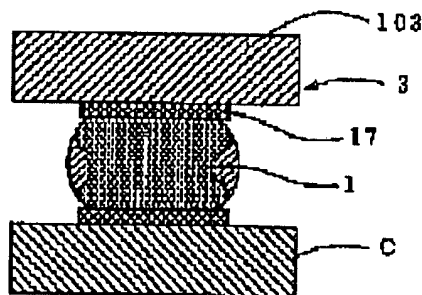
(a)



(b)



(c)



Order This Patent

Family Lookup

Citation Indicators

[Go to first matching text](#)

JP10163270 A

WIRING BOARD WITH JOINING BUMP

NGK SPARK PLUG CO LTD

Inventor(s):MURATA HARUHIKO ;KIMURA YUKIHIRO

Application No. 08335148 JP08335148 JP, Filed 19961129,A1 Published 19980619

**Abstract: PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a wiring board with joining bump the bumps of which are hardly crushed at joining time and which can be manufactured without problem even when the bumps have small sizes.

**SOLUTION:** A wiring board 3 with joining bump has a board 103 and a plurality of joining bumps 1 arranged

on the joining surface of the board 103 and a body C to be joined, such as the integrated circuit chip, etc., is joined to the joining surface of the board 103 through the bumps 1 by putting the body C on the joining surface and heating the body C to a preset joining temperature. The bumps 1 are constituted so that the bumps 1 can partially melt to liquid phases and, at the same time, the produced liquid phases L can form mixed states with the remaining solid phase parts S. when the body C is heated.

Int'l Class: H01L02160; H01L021321 H01L02312 H05K00334

[Home](#)[Search](#)[List](#)

---

For further information, please contact:  
[Technical Support](#) | [Billing](#) | [Sales](#) | [General Information](#)



Home



Search



List



Back to  
Record

## MicroPatent® PatSearch FullText: Record 1 of 1

Family of JP10163270A2

[How It Works](#)

---

Family of JP10163270

No additional family members are found for this document

---



Home



Search



List



Back to  
Record

---

For further information, please contact:  
[Technical Support](#) | [Billing](#) | [Sales](#) | [General Information](#)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-163270

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月19日

(51) Int.Cl.<sup>4</sup> 識別記号  
 H 0 1 L 21/60 3 1 1  
           21/321  
           23/12  
 H 0 5 K 3/34 5 0 1

F I  
 H 0 1 L 21/60 3 1 1 S  
 H 0 5 K 3/34 5 0 1 E  
 H 0 1 L 21/92 6 0 3 B  
           23/12 L

審査請求 未請求 請求項の数14 F D (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平8-335148

(22) 出願日 平成8年(1996)11月29日

(71) 出願人 000004547

日本特殊陶業株式会社

愛知県名古屋市長区瑞穂区高辻町14番18号

(72) 発明者 村田 晴彦

愛知県名古屋市長区瑞穂区高辻町14番18号 日  
本特殊陶業株式会社内

(72) 発明者 木村 幸広

愛知県名古屋市長区瑞穂区高辻町14番18号 日  
本特殊陶業株式会社内

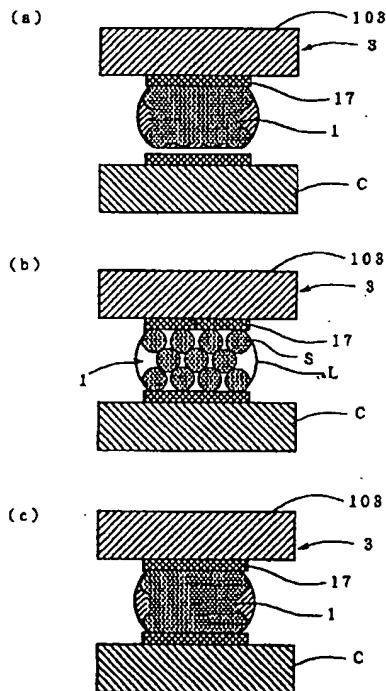
(74) 代理人 弁理士 菅原 正倫

## (54) 【発明の名称】 接合パンプ付き配線基板

## (57) 【要約】

【課題】 接合時にパンプの潰れが生じにくく、また、サイズの小さいパンプも問題なく製造できる接合パンプ付き配線基板を提供する。

【解決手段】 接合パンプ付き配線基板3は、基板103と、その接合面に配置された複数個の接合パンプ1とを有し、該基板103は、接合面に集積回路チップ等の被接合体Cを重ね合わせて予め定められた接合温度に加熱することにより、接合パンプ1を介して該被接合体が接合されることが予定される。ここで、接合パンプ1は、上記接合温度において部分的に熔融して液相Lを生ずるとともに、その生じた液相部分Lと残余の固相部分Sとが互いに混合した状態を形成するものとして構成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、その接合面に配置された複数個の接合バンプとを有し、

また、前記基板は、前記接合面に別の基板ないし集積回路チップ等の被接合体を重ね合わせて予め定められた接合温度に加熱することにより、前記接合バンプを介して該被接合体が接合されることが予定され、

前記接合バンプは、前記接合温度において部分的に溶融して液相を生ずるとともに、その生じた液相部分と残余の固相部分とが互いに混合した状態を形成するものとして構成されたことを特徴とする接合バンプ付き配線基板。

【請求項2】 前記接合バンプは、前記接合温度において固相と液相とが共存した状態を形成し、かつ前記接合温度における固相の存在比率が20～95重量%となる合金により構成されている請求項1記載の接合バンプ付き配線基板。

【請求項3】 基板と、その接合面に配置された複数個の接合バンプとを有し、

前記接合バンプは、少なくとも200～220℃の温度域において固相と液相とが共存した状態を形成し、かつ該温度域における固相の存在比率が20～95重量%となる合金により構成されたことを特徴とする接合バンプ付き配線基板。

【請求項4】 前記接合バンプは、Pb、Sn及びAuから選ばれる1種又は2種以上を主成分とする合金により構成されている請求項1ないし3のいずれかに記載の接合バンプ付き配線基板。

【請求項5】 前記合金は、PbとSnとの少なくとも一方を合計で80重量%以上含有するものである請求項4記載の接合バンプ付き配線基板。

【請求項6】 前記合金は、PbとSnとの双方を合計で80重量%以上含有し、かつPbとSnとの合計量に対するSnの含有比率が20～40重量%とされたものである請求項5記載の接合バンプ付き配線基板。

【請求項7】 前記接合バンプは、固相形成金属部と、溶融開始温度が該固相形成金属部よりも低い液相形成金属部とが互いに混合した構造を有し、前記接合温度において、前記液相形成金属部の少なくとも一部が溶融して前記液相部分の少なくとも一部を形成するものである請求項1記載の接合バンプ付き配線基板。

【請求項8】 前記接合バンプは、前記固相形成金属部としての多数の金属粒子と、それら金属粒子同士の隙間を少なくとも部分的に充填する前記液相形成金属部としての結合金属部とを有する複合材料により構成されている請求項7記載の接合バンプ付き配線基板。

【請求項9】 基板と、その接合面に配置された複数個の接合バンプとを有し、

前記接合バンプは、多数の金属粒子と、それら金属粒子同士の隙間を充填するとともに該金属粒子の構成金属よ

りも溶融開始温度の低い金属からなる結合金属部とを有する複合材料によって構成されたことを特徴とする接合バンプ付き配線基板。

【請求項10】 前記接合バンプは、前記結合金属部の成分の一部と前記金属粒子の成分の一部とを含有する合金層が前記金属粒子の表面に沿って形成され、その合金層を介して前記金属粒子同士が互いに結合された構造を有する請求項8又は9に記載の接合バンプ付き配線基板。

【請求項11】 前記合金層は、前記結合金属部が融解して生ずる液相のうち、前記金属粒子との界面近傍に位置する部分に該金属粒子の成分が溶出してその溶融開始温度が上昇し、当該部分の液相が凝固することに基づいて形成されたものである請求項10記載の接合バンプ付き配線基板。

【請求項12】 前記結合金属部はSnを50～80重量%含有する合金により構成されている請求項8ないし11のいずれかに記載の接合バンプ付き配線基板。

【請求項13】 前記結合金属部は、Sn成分を除いた残部がPbを主体に構成されている請求項12記載の接合バンプ付き配線基板。

【請求項14】 前記金属粒子は、Pb、Cu及びAgの少なくとも一つを主体に構成された1種又は2種以上の金属粒子である請求項8ないし13のいずれかに記載の接合バンプ付き配線基板。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、フリップチップ接合用基板やボールグリッドアレイ基板等、接合バンプを有する配線基板に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、例えば集積回路チップを集積回路基板に実装する場合には、集積回路チップ及び集積回路基板の接合面に、複数の半田バンプを格子状又は千鳥状に形成し、これに集積回路チップを重ね合わせて所定の接合温度に加熱することにより半田バンプを介して両者を接合する、いわゆるフリップチップと呼ばれる方式が知られている。また、集積回路チップを搭載した集積回路基板とプリント基板（マザーボード等）との接合においては、集積回路基板の他方の接合面（集積回路チップを搭載した接合面とは反対側の接合面）に接合用の高融点半田やCu等のボールを用いて格子状に複数の半田バンプを形成し、これにプリント基板を重ね合わせて同様に加熱することにより接合する方式も知られており、このような基板はボールグリッドアレイ（BGA）基板と呼ばれる。ここで、これらの基板における半田バンプの材質として、いずれも共晶組成（Sn-38.1重量%Pb）又はそれに近い組成の半田が使用されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上述のような基板同士の接合は、通常、共晶半田の融点（約183℃）から20～40℃程度高い温度で行われる。この場合、共晶半田で構成されたパンプが処理中に完全に融解し、基板と被接合体との間で潰れてしまう問題が生ずることがある。そこで、接合される基板と被接合体との間にスペーサを配置したり、CuやAgなど高融点のボールを中心核としてパンプに内蔵することにより、上述のようなパンプの潰れを防止することも行われている。しかしながら、前者の方法では、スペーサの作製費用とスペーサ配置のための手間がかかる問題がある。また、後者の方法においては、ボール内蔵型のパンプは、まず共晶半田ペーストを基板上に盛り、これにさらにボールを搭載した後加熱してペーストを溶融させることによりボールと一体化させる方法で製造されているため、ボール搭載のための工数及び設備が余分に必要となるほか、ボールの搭載が困難になるため一定寸法以下の小さなパンプの製造ができない欠点がある。

【0004】 本発明の課題は、接合時にパンプの潰れが生じにくく、また、サイズの小さいパンプも問題なく製造できる接合パンプ付き配線基板を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段及び作用・効果】 上述の課題を解決するために本発明の請求項1の接合パンプ付き配線基板は、基板と、その接合面に配置された複数の接合パンプとを有し、該基板は、接合面に別の基板ないし集積回路チップ等の被接合体を重ね合わせて予め定められた接合温度に加熱することにより、接合パンプを介して該被接合体が接合されることが予定され、その接合パンプが、上記接合温度において部分的に溶融して液相を生ずるとともに、その生じた液相部分と残余の固相部分とが互いに混合した状態を形成するものとして構成されたことを特徴とする。

【0006】 なお、ここでいう配線基板とは、集積回路チップが実装される基板だけでなく、プリント基板と接合される基板、及び集積回路チップ自身（即ちフリップチップ）をも意味する。具体的には、集積回路チップとの接合（フリップチップ接合）のために一方の面に複数の半田パンプが設けられた基板、一方の面にプリント基板との接合用の複数の半田パンプ（この場合は通常BGA）を備えた基板、あるいは複数の半田パンプを有する集積回路チップを意味する。それら複数のパンプは、線状又は面状に配列することができる。線状の配列パターンとしては、例えば四角形の枠状に配列する態様が挙げられる。また、面状の配列パターンとしては、例えば格子状又は千鳥状に配列する態様が挙げられる。

【0007】 上記構成の配線基板においては、接合温度において接合パンプが部分的に溶融して液相を生じ、その液相が被接合体と接合パンプとの接触部に供給され、

その後、該液相が冷却に伴い凝固することにより基板と被接合体とが接合パンプを介して接合されることとなる。ここで、接合パンプは、接合温度において液相部分と固相部分とが互いに混合した状態を形成することから、共晶半田を用いたパンプのように完全溶融により潰れたりするトラブルが生ずる心配がない。

【0008】 そのような接合パンプは、接合温度において固相と液相とが共存した状態（以下、固液共存状態ともいう）を形成し、かつ接合温度における固相の存在比率が20～95重量%となる合金により構成することができる（請求項2）。すなわち、該構成によれば、接合温度において液相部分と固相部分とが互いに混合した状態を形成する接合パンプを合金により簡単に製造でき、例えば従来のボール内蔵型パンプのようにボール搭載のための工程及び設備が不用となるので、製造コストを削減できるほか、サイズの小さいパンプも容易に製造できる。

【0009】 上述のようなパンプが、接合時において潰れにくくなる要因として下記のようなことが考えられる。例えば接合時においてパンプ全体が液相になっている場合は、パンプ形状を維持するための力はほとんど表面張力のみとなるため、わずかな外力が作用しただけで潰れてしまうことになる。しかしながら、上記構成のパンプのように固液共存状態（すなわち半溶融状態）になっている場合は、パンプが流動して変形しようとするとき固相部分と液相部分との界面に摩擦力が生じて見かけの粘性が大きくなり、接合中のパンプの形状維持力が高められる。また、固相部分が互いに連結して、例えば三次元網目状の骨格構造を形成することもあり、その場合はパンプを変形させるためには骨格の変形が必要となることから形状維持力はさらに向上する。

【0010】 なお、接合パンプを構成する合金は、接合温度における固相の存在比率が20重量%未満になるものを使用すると、パンプの流動性が大きくなって潰れ防止効果が十分に達成されなくなる場合がある。一方、固相の存在比率が95重量%を超えるものを使用すると液相の生成量が不足して、被接合体とパンプとの間に十分な接合状態が形成できなくなる場合がある。それ故、合金は、固相の存在比率が20～95重量%となるものを使用するのがよく、より望ましくは固相の存在比率が40～70重量%となるものを使用するのがよい。

【0011】 上述のような合金を用いたパンプは、例えば合金粉末のペーストを用いて所定のパンプパターンを基板上に形成し、これを合金の溶融開始温度以上に加熱することにより、ペーストに含まれる合金粉末粒子を少なくとも部分的に溶融させて一体化させる、いわゆるソルダーペースト法により形成することができる。一方、所定の組成に原料を配合・溶解することにより合金を製造し、さらにその合金を鋳造ないし機械加工により所定の形状に成型してプレフォームを作り、そのプレフォー

ムを基板上に載置して合金の融点以上に加熱することにより、これを基板と一体化させてパンプとするプレフォーム法を採用することもできる。なお、本明細書において「熔融開始温度」とは、融点、固相線温度、共晶温度及び包晶温度等、昇温時において金属ないし合金の融解が開始される温度を総称するものとする。

【0012】次に、請求項3の接合パンプ付き配線基板は、基板と、その接合面に配置された複数の接合パンプとを有し、その接合パンプが、少なくとも200～220℃の温度域において固相と液相とが共存した状態を形成し、かつ該温度域における固相の存在比率が20～95重量%となる合金により構成されることを特徴とする。すなわち、該配線基板の接合パンプは、共晶半田系のパンプを有する従来の基板の接合処理に広く採用されてきた200～220℃の温度域において少なくとも、固相の存在比率が20～95重量%となる固液共存状態を形成する合金により形成されていることから、当該温度域において接合処理が行われた場合に、前述の請求項2の配線基板と同様に、パンプが潰れたりするトラブルを生ずることなく、被接合体との間に良好な接合状態を形成することができる。換言すれば、共晶半田系のパンプを有する基板の接合温度条件をそのまま流用して接合処理を行うことができる。

【0013】以上の構成において接合パンプは、具体的にはPb、Sn及びAuから選ばれる1種又は2種以上を主成分とする合金により構成することができる（請求項4）。例えばそのような合金として、PbとSnとの少なくとも一方を合計で80重量%以上含有する合金

（例えば、Pb-Sn半田合金あるいはSn-Pb半田合金）は、安価でしかもろう接性に優れた汎用的な材料であり、本発明の配線基板の接合パンプに好適に使用することができる（請求項5）。なお、200～220℃の温度域において少なくとも、固相の存在比率が20～95重量%、望ましくは40～70重量%となる固液共存状態を形成する合金であれば、Pb及び/又はSnの合計含有量が80重量%未満の合金であっても、本発明の接合パンプの材質として好適に使用することができる。また、Pb-Sn系合金以外では、Au-Tl系合金等も使用できる。

【0014】接合パンプを、例えばPbとSnとの双方を合計で80重量%以上含有する合金で構成する場合、PbとSnとの合計量に対するSnの含有比率が20～40重量%とすることで、200～220℃の温度域における固相の存在比率を、20～95重量%の範囲内に調整することが可能となり、ひいては前述の通り、パンプの潰れを防止しつつ良好な接合状態を形成することができる（請求項6）。Snの含有比率が20重量%未満になると、上記温度域における固相の存在比率が95重量%を超え、逆に40重量%を超えると固相の存在比率が20重量%未満となることにつながる。なお、固相の

存在比率を、より望ましい範囲である40～70重量%に調整するためには、Snの含有比率を28～33重量%の範囲で調整するのがよい。なお、より具体的な合金組成としては、Snの含有比率が20～40重量%であるPb-Sn二元合金を使用することができる。

【0015】次に、接合パンプは、固相形成金属部と、該固相形成金属部よりも熔融開始温度の低い液相形成金属部とが互いに混合した構造を有し、接合温度において、液相形成金属部の少なくとも一部が熔融して液相を形成するものとして構成することができる（請求項7）。

【0016】すなわち、上記構成の配線基板においては、その接合パンプが、熔融開始温度の互いに異なる2部分、すなわち熔融開始温度の高い固相形成金属部と、熔融開始温度の低い液相形成金属部とによって構成されており、接合温度において液相形成金属部が少なくとも部分的に熔融して液相を生じる一方、固相形成金属部は少なくともその一部が固相状態を維持することで、接合温度において液相部分と固相部分とが互いに混合した状態を形成することから、接合中にパンプが潰れたりするトラブルが生じにくくなり、ひいては被接合体との間に良好な接合状態を形成することができる。接合温度は、例えば固相形成金属部の熔融開始温度と液相形成金属部の熔融開始温度との間に設定することができる。

【0017】具体的には、接合パンプは、固相形成金属部としての多数の金属粒子と、それら金属粒子同士の隙間を少なくとも部分的に充填する液相形成金属部としての結合金属部とを有する複合材料により構成することができる（請求項8）。また、請求項9の配線基板は、基板と、その接合面に配置された複数の接合パンプとを有し、接合パンプが、多数の金属粒子と、それら金属粒子同士の隙間を充填するとともに該金属粒子の構成金属よりも熔融開始温度の低い金属からなる結合金属部とを有する複合材料によって構成されたことを特徴とする。

【0018】例えば請求項2の配線基板における接合パンプの場合、パンプを構成する合金の材質として、接合温度での固相存在比率が前述の所定の範囲となる特定の成分系を選定する必要があったが、上記構成によれば、結合金属部中に多数の金属粒子が分散した複合材料によりパンプが構成されるので、結合金属部及び金属粒子の材質の組合せを比較的自由に選定できる利点がある。また、金属粒子と結合金属部とが予め混合・分散しあった複合材料を調製し、それを用いて接合パンプを形成すればよいから、例えば従来のボール内蔵型パンプのようなボール搭載のための工程及び設備が不用となり、製造コストを削減できるほか、サイズの小さいパンプも容易に製造できる。

【0019】なお、上記構成においては、金属粒子の含有量は、少なくとも接合温度、例えば200～220℃の温度域において、固相の存在比率が20～95重量

%、望ましくは40～70重量%となるように調整される。その臨界的意義については、請求項2の配線基板の場合と同様である。この場合、結合金属部の大半が接合温度において液相となる場合には、複合材料中の金属粒子の含有量を20～95重量%、望ましくは40～70重量%の範囲で調整すればよい。

【0020】上述のような複合材料を用いたバンパは、例えば結合金属部となる金属粉末と、金属粒子とを予め混合したペーストを用いて所定のバンパパターンを基板上に形成し、これを例えば結合金属部を構成する材料の熔融開始温度以上に加熱することにより、結合金属部をなす金属粉末を少なくとも部分的に熔融させて一体化させるソルダーペースト法により形成することができる。一方、結合金属部中に金属粒子を分散させた複合材料を、例えば結合金属部となる金属粉末と金属粒子とを混合した後、焼成あるいは押出成型する等、適宜の方法を用いて作製し、その複合材料を所定の形状に成型してプレフォームを作り、さらにそのプレフォームを基板上に載置して加熱することにより、これを基板と一体化させてバンパとするプレフォーム法を採用することもできる。

【0021】上述のような複合材料を用いてバンパを形成する場合、接合処理中におけるその形状維持力を高めるためには、結合金属部の融解によって生じた液相と金属粒子との間に適度な摩擦力が作用し、また金属粒子が結合金属部中に均一に分散するように、該結合金属部に対してぬれ性の良好な材質を金属粒子として選定することが望ましいといえる。

【0022】また、接合バンパは、結合金属部の成分の一部と金属粒子の成分の一部とを含有する合金層が金属粒子の表面に沿って形成され、その合金層を介して前記金属粒子同士が互いに結合された構造を有するものとして構成することができる（請求項10）。これにより、金属粒子（すなわち固相部分）が合金層を介して互いに連結して、例えば三次元網目状の骨格構造を形成し、接合処理中のバンパの形状維持力がさらに高められる。このような合金層は、例えば結合金属部が融解して生ずる液相のうち、金属粒子との界面近傍に位置する部分に該金属粒子の成分が溶出してその熔融開始温度（固相線温度）が上昇し、当該部分の液相が凝固することに基づいて形成されたものとしてすることができる（請求項11）。

【0023】結合金属部は、接合温度において速やかに熔融して十分な量の液相を発生できる材質で構成することが望ましく、具体的にはSnを50～80重量%含有する合金により構成することができる（請求項12）。この場合、結合金属部は、Sn成分を除いた残部をPbを主体に構成することができ（請求項13）、より具体的には、共晶組成を有するSn-Pb二元合金（Sn-38.1重量%Pb：いわゆる共晶半田）あるいは、それに近い組成のSn-Pb二元合金（例えばPb含有量

が20～50重量%）を使用することができる。そして、金属粒子としては、そのような結合金属部に基づく液相とのぬれ性のよい材質で構成されたもの、例えばPb、Cu及びAgの少なくとも1つを主体に構成された1種又は2種以上の金属粒子を使用することができる（請求項14）。例えば、Pbを主体とする金属の粒子の場合、Pb金属粒子やPbの含有比率が90重量%以上であるPb-Sn二元合金（いわゆる高融点半田）の粒子を使用することができ、Cuを主体とする金属の粒子としてはCu又はCu合金粒子を使用することができる。また、Pb、Cu及びAgのうちの2種以上を含有する合金の粒子を使用することができ、例えばAg-Cu合金の粒子を使用することができる。なお、金属粒子は、すべてを同一の材質で構成しても、あるいは材質の異なるものを2種以上混合して使用してもいずれでもよい。

#### 【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に示す実施例を参照して説明する。

（実施例1）本実施例では、集積回路チップをフリップチップ法によって接合するための接合バンパ付き配線基板を例にとって説明する。図1（a）に示すように、接合バンパ付き配線基板（以下、単に配線基板ともいう）3は、例えば約25mm角、板厚約1mmのプラスチック製の基板103上に接合バンパ1が多数、例えば格子状に固着された構造を有するものであり、図1（b）に示すように、BTコア基板5上にエポキシ樹脂による絶縁層7を形成するとともに、絶縁層7の表面及びBTコア基板5と絶縁層7の間には、Cu内部配線9が形成されている。なお、Cu内部配線9の形成法としては、無電解Cuメッキ及び電解Cuメッキを用いたセミアディティブ法その他、サブトラクティブ法やフルアディティブ法を使用できる。

【0025】また、配線基板の最表面には、Cu配線11の防食及び接合バンパ1との密着性向上のために、約3μmの無電解Ni-Pメッキ層13と約0.1μmの無電解Auメッキ層15とがこの順序で形成された下地導電性パッド（以下、単にパッドと称する）17が形成されており、このパッド17上に接合バンパ1が固着されている。また、その他の部位には、アクリル樹脂やエポキシ樹脂等によりソルダーレジスト層19が形成されている。

【0026】接合バンパ1は、200～220℃の温度域において少なくとも、固相の存在比率が20～95重量%、望ましくは40～70重量%となる固液共存状態を形成する合金、例えばPbとSnとの双方を合計で80重量%以上含有し、PbとSnとの合計量に対するSnの含有比率が20～40重量%、望ましくは28～33重量%である合金で構成されている。以下、Pb-Sn二元系半田合金を使用した場合を例にとる。



【0027】Pb-Sn二元合金の加熱あるいは冷却に伴う相変化ひいては組織変化の挙動は、図2に示すPb-Sn系平衡状態図に基づいて推測することができる。Pb-Sn系は、Pb及びSnの双方の側に固溶限が形成される典型的な共晶型状態図を示し、共晶温度（約183℃）での、Pb側の $\alpha$ -固溶体（以下、 $\alpha$ 相ともいう）に対するSnの固溶限は19.5重量%、同じくSn側の $\beta$ -固溶体（以下、 $\beta$ 相ともいう）に対するPbの固溶限は2.5重量%、共晶組成は38.1重量%Pbである。一例を挙げれば、該合金としてPb-40重量%Snの二元合金を用いた場合、PbとSnとを該組成となるように配合してこれを加熱・溶解させれば、両成分は完全に溶け合って単一の液相Lを構成する。次いでこれを冷却すると、図3(a)に示すように、Pb側の液相線L1と交わる温度A2において液相L中に $\alpha$ 相の初晶を晶出しはじめる。状態図においては、該液相線L1とPb側の固相線Q1と共晶線Eとに囲まれた部分は $\alpha$ 相と液相Lとの固液共存領域となる。

【0028】以下冷却の進行に伴い図3(b)に示すように、新たな $\alpha$ 相の晶出あるいはすでに晶出している $\alpha$ 相の成長により、 $\alpha$ 相の比率が増大する。ここで、各温度における $\alpha$ 相とこれと平衡する液相（残液）との存在比率は、状態図上において、いわゆる天秤の法則（lever rule）により幾何学的に算出することができる。例えば、組成がPb-40重量%Snであり温度が210℃である場合は、状態図中に温度軸上の210℃の点を通して組成軸に平行な直線Hを引き、固相線Q1との交点をA3、液相線L1との交点をA4とする。また、組成軸上のPb-40重量%Snの組成を表す点を通して温度軸に平行な直線Vを引き、直線Hとの交点をA5とする。この場合、線分A3A5の長さを11、線分A5A4の長さを12とすれば、液相Lの存在比率は $\{11 \div (11 + 12)\} \times 100$ （重量%）、固相（ $\alpha$ 相）の存在比率は $\{12 \div (11 + 12)\} \times 100$ （重量%）となる。なお、液相Lの組成及び $\alpha$ 相の組成は、温度が低下するに伴いそれぞれ液相線L1と固相線Q1に沿って変化する。

【0029】そして、図3(c)に示すように、さらに温度が下がって $\alpha$ 相が成長すると、最初はそれぞれ独立して液相L中に浮遊していた $\alpha$ 相の粒子が互いに融着して、三次元網目状に連なった骨格構造を形成し、液相Lはその骨格Sの空隙に保持された状態となる。そして、温度が共晶温度に到達すると、残っていた液相Lから共晶反応により $\alpha$ 相と $\beta$ 相とが同時に晶出して凝固が完了する。なお、図2の状態図に示すように、共晶温度における $\alpha$ 相中のSnの固溶限は19.5重量%と大きい、室温近傍での固溶限は非常に小さい。そのため、凝固後の合金を共晶温度以下、例えば室温で放置すると固溶しきれなくなったSn成分が $\beta$ 相の形で $\alpha$ 相中に析出する。ここで、図2には、共晶温度までに晶出する初晶

の $\alpha$ 相の量、共晶凝固する $\alpha$ 相と $\beta$ 相との合計量、及び共晶中の $\alpha$ 相と $\beta$ 相の各量を、天秤の法則により計算した結果を合わせて示している（いずれも共晶温度での値）。一方、Snの含有量が、下限値に近い20重量%とされた場合には、図2の状態図からも明らかなように、共晶温度までに大半の液相Lが $\alpha$ 相として凝固する。この場合は、 $\beta$ 相は、共晶温度以下で $\alpha$ 相中に析出したものが主体となる。

【0030】さて、上述のような材質の合金で構成された接合パンプ1は、例えば次のようにしてパッド17（図1）上に形成することができる。まず、原料を配合・溶解して合金を作り、これを圧延あるいは線引きにより、例えば直径1mm程度の合金線材に加工する。次に、合金線材を所定長に切断することにより合金プレフォームを作製し、これをパッド17上に載置する。このプレフォームの作製及びパッド17上への載置は、例えば図4に示す装置49を用いれば効率的に行うことができる。

【0031】この装置49は、下記の要件を備えて構成されている。

①下型51：板状に形成されるとともに、合金線材50の外径に対応する内径を有してこれを板厚方向に貫通する複数の線材挿通孔52が、基板103の各パッド17の位置に対応して孔設される。

②上型53：下型51に積層される板状に形成されて該下型51に対し板面方向に相対移動可能に配置され、下型51の各線材挿通孔52に対応する複数の線材挿通孔54が形成される。

③型スライド手段：下型51と上型53とを板面方向に相対的にスライドさせる。本実施例では、下型51がフレーム55に固定される一方、上型53は上記型スライド手段としてのシリンダ56及びピストンロッド57を介してフレーム55に結合されており、ピストンロッド57がシリンダ56により伸縮することで、上型53が下型51に対してスライドする。

【0032】④基板搬送手段：例えば間欠的に駆動・停止可能なコンベア58により構成され、基板103を搬送する。

⑤基板位置決め手段：コンベア58の駆動を制御して、該コンベア58上の基板103を下型51に対し、各パッド17が、対応する線材挿通孔52に位置合わせされるように位置決めする。

⑥型接近・離間手段：コンベア58上の基板3に対し、上型53と下型51とを相対的にかつ一体的に接近・離間させる。本実施例では、フレーム55を昇降させるシリンダ59により構成されている。

⑦線材送り手段：下型51の線材挿通孔52と上型53の線材挿通孔54とを互いに一致させた状態で、それら線材挿通孔52、54に合金線材50を所定長（本実施例では1mm）ずつ間欠的に送り込む。本実施例では、合

金線材50を挟み付けて回転する送りロール60と、その送りロール60を駆動するモータ61により構成されている。

【0033】以下、装置50の作動について図5を用いて説明する。すなわち、図5(a)に示すフラックス65を塗布後の基板103を、同図(b)に示すように下型51に対して位置決めするとともに、下型51の線材挿通孔52と上型53の線材挿通孔54とを互いに一致させ、これに合金線材50を挿通・供給する。そして、その状態で上型53を下型51に対してスライドさせると、同図(c)に示すように合金線材50は、両型51、53の間で軸断面方向に切断されることにより切断されて円柱状のプレフォーム66となり、同図(d)に示すように、それぞれ対応するパッド17上に載置される。次いで、上型53と下型51とを基板103から退避させ、さらにコンベア58(図4)を作動させて、プレフォーム66が載置された基板103を排出するとともに、次の基板103を下型51に対して位置決めし、上型53を同図(b)に示す状態に復帰させる。そして、合金線材51を、再び所定の切断長分だけ送り、以下同様の工程が繰り返される。

【0034】このようにしてプレフォーム66を載置した基板103を、例えば遠赤外線リフロー炉中で、温度200~220℃の温度範囲で加熱してリフロー処理する。これにより、プレフォーム66が基板103のパッド17に接合されて接合バンプ1となるのであるが、その様子を図6に模式的に示している。該接合のメカニズムは次のようなものであると推察される。まず、加熱前のプレフォーム66は、線引き加工により結晶粒の形状は変化しているものの、おおむね図3(d)に示すような組織状態になっていると考えられる。そして、温度が共晶温度よりも高くなると、合金中の $\beta$ 相と $\alpha$ 相とが反応して融解が開始する。この融解反応は、主に最後に凝固した共晶の $\beta$ 相と $\alpha$ 相との間で進むものと見られるが、初晶の $\alpha$ 相とこれに近接して位置する $\beta$ 相との間、あるいは共晶温度以下で $\alpha$ 相中に析出した $\beta$ 相と周囲の $\alpha$ 相との間でも反応は進行しうる。なお、 $\beta$ 相が完全に融解・消失するまでは合金の温度はほぼ一定となる。

【0035】そして、 $\beta$ 相が完全に融解し終わると温度は再び上昇を開始し、図2に示す固液共存領域( $\alpha+L$ )に入る。その後は、温度の上昇とともに残っている $\alpha$ 相の融解が進行して液相Lの比率が増大してゆく。ここで、図3(c)に示すように、凝固時に一旦形成された $\alpha$ 相の骨格構造は、温度上昇に伴い、図中破線で示したように、その表層部から太さを徐々に減少させつつ融解すると思われることから、 $\alpha$ 相が液相L中に分散・浮遊した同図(b)に示すような状態に戻るのではなく、骨格の太さは減少してもその分断は容易には生じず、比較的高温まで三次元網目構造を維持するものと考えられる。

【0036】そして、生じた液相Lはその骨格の隙間に保持されつつ、一部がプレフォーム66からしみ出して、図6(b)に示すように、パッド17とプレフォーム66との接触部に供給される。このとき、プレフォーム66における固相( $\alpha$ 相)の存在比率は、上記温度範囲の中心温度である210℃においては、図2に示す状態図から、合金組成が20重量%Snで86重量%程度、30重量%Snで57重量%、40重量%Snで26重量%程度となる。そして、この状態で所定時間保持した後冷却して液相Lを凝固させれば、同図(c)に示すようにプレフォーム66が基板103に接合される。なお、上記リフロー処理は、非酸化性雰囲気(例えば、窒素あるいは水素)で行うようにすれば、合金あるいはパッド17の酸化が防止ないし抑制されるので接合性を高めることができる。こうして接合が終了すれば、基板103に塗布したフラックスを、例えばアルコール等の有機溶剤で洗浄して除去することにより、直径約1mm、高さ約1mmの円柱状の接合バンプ1が形成された配線基板3が完成する。なお、水溶性のフラックスを用いた場合には、水洗での除去も可能である。

【0037】上記配線基板3は、例えば図7(a)に示すように、接合バンプ1が形成された側に集積回路チップCを重ね合わせてこれを200~220℃の接合温度に加熱することにより、接合バンプ1が再び固液共存状態となり、その生じた液相LによってチップCとの接合が行われることとなる(図7(b)、(c))。ここで、該接合バンプ1は、共晶半田を用いた従来の接合バンプとは異なり、共晶温度よりも20~40℃高い接合温度においてもそのすべてが液相Lとならず固相Sを残存させており、しかも図3(c)に示すように、その固相( $\alpha$ 相)は骨格構造を維持していることから、バンプ1の形状維持力が高められており、接合中に集積回路チップ(被接合体)Cと基板103との間で押し潰されたりするトラブルが生じにくい。

【0038】また、図5に示すように、合金線材50から定尺切断されたプレフォーム66を用いて接合バンプ1が形成されていることから、各接合バンプ1は高さが均一でしかも頂面が平坦となり、下記のような利点も生ずる。すなわち、配線基板上に設けられた個々の接合バンプは、集積回路チップやプリント基板との接合性等を高めるために、その高さが揃っていることが好ましいとされている。より具体的には、個々の接合バンプのコ-planarity(Coplanarity)が小さい方が好ましいとされている。ここで、コ-planarityとは、すべての半田バンプの軸線と交差し、かつ、それらバンプの頂点をその間を含むように設定された互いに平行な2つの仮想的な平面の、その最小間隔で定義され、半田バンプの高さの不均一性を示す指標である。従って、上記配線基板3のように接合バンプ1の高さが揃っていて、その頂面が平坦に形成されていれば、そのコ-planarity

を小さくすることができ、ひいては集積回路チップやプリント基板との接合性を高めることができるほか、導通検査や絶縁検査等も確実にこなうことができるという利点がある。また、接合バンプ1の頂部が平坦であると、画像認識による頂部の位置検出や高さ測定が容易であるので、コーポラナリティの測定が簡易化されるという効果もある。

【0039】(実施例2)実施例1の配線基板3において、接合バンプ1は、プレフォームを用いる代わりに合金ペーストを用いるソルダーペースト法によっても形成できる。すなわち、図8(a)に模式的に示すように、パッド17と同じ配列に凹部21を形成した凹版23に対し、前述の半田合金のペースト(以下、合金ペーストという)25を、スキージ印刷(スキージ24を用いて充填)する。凹版23の材質は、半田に濡れないステンレスやTi等の金属又は窒化珪素等のセラミックである。また、凹部21は、エッチングやNC加工機によって形成され、その底面(平面)21cの平坦度は例えば $0.1\mu\text{m}/\text{mm}$ である。この凹部21の深さは、後述するように、リフロー処理によって半田バンプ1を形成する際に、溶融して球状となろうとする半田の頂部がその底面21cに接することで、接合バンプ1の頂部の高さを所定値に規制し平坦化するような値に設定されている。なお、合金ペースト25は、体積の50%が半田合金粒であり、残り50%がフラックスである。また、ペーストに使用される半田合金粒の大きさは、例えば直径 $30\mu\text{m}$ 前後の一般に用いられているものを使用できるが、その他の大きさの半田合金粒を用いてもよい。ただし、粒径が大きくなるほど、バンプはごつごつした形状になるので、粒径は例えばバンプ径の $1/3$ 以下とするのが好ましい。

【0040】そして、図8(b)に示すように、基板103の上面に、凹部21を下に向けて凹版23を載置する。このとき、凹版23は、各パッド17と各凹部21が一致するように配置され、ずれないように図示しない治具により固定される。そして、図8(c)に示すように、この基板103に凹版23を載置した状態で、図示しないリフロー炉内に配置して、前述と同様の温度範囲( $200\sim 220^\circ\text{C}$ )にてリフロー処理を行う。

【0041】この場合、図9(a)に示す半田合金粒25aは、同図(b)に示すように、リフロー処理により中心部は固相Sのままで一部が融解して液相Lを生ずるとともに、同図(c)に示すようにその固相Sの粒同士は溶着して骨格構造が形成され、さらに、しみ出した液相Lによってパッド17と結合する。また、半田合金粒は、液相Lの表面張力によって球状にまとまろうとするが、凹版23により高さが規制されているため、バンプ1は頂部が平らな樽型となる。

【0042】リフロー処理が終了すれば凹版23を取り除き、前述と同様にフラックスを洗浄により除去す

ば、図8(d)に示すように、基板103のパッド17上に、高さが揃うと共にその頂部が平坦な接合バンプ1が複数形成される。例えば図1(b)に示す2つの接合バンプ1は、パッド17の下にビア17aがある場合とない場合とを示しているが、いずれの場合もバンプ1の高さは同じにできる。これは、接合バンプ1の頂部を平坦化することにより、必要な合金ペースト量のバラツキを吸収できるからである。

【0043】なお、凹版23を用いて半田合金ペースト25を塗布する代わりに、図10(a)に示すように、合金ペースト25を充填するための貫通孔70aが形成された板状のメタルマスク70を用いてスキージ印刷により塗布してもよい。この場合は、メタルマスク70を除去後そのままリフローすれば、同図(b)及び(c)に示すような略球状の接合バンプ1が形成される。

【0044】一方、以下に説明するようなバンプ高さ規制治具を用いてリフローすれば、前述の凹版23を用いた場合と同様の樽型のバンプ1が得られる。すなわち、図11に示すように、基板103上に上記メタルマスクを用いてペースト層121を形成し、次に平坦化治具23を、複数のペースト層121を一括して覆うように、基板103上にセットする。この平坦化治具23は、例えば窒化珪素からなるセラミックス製の治具であり、複数のペースト層121にわたる長さを有する平板状の規制部材23aと、規制部材23aの両側に配置された同じ高さを有する脚部23bとを備え、略コの字状の断面形態を有している。なお、平坦化治具23の凹部底面(平面)23cは精密に研磨され、その単位長さ当りの平面度は例えば $0.1\mu\text{m}/\text{mm}$ である。

【0045】一方、脚部23bの長さ(高さ)は、平面23cがペースト層21の上面に接するか、あるいは僅かの間隔を有する長さ( $h$ =例えば $50\mu\text{m}$ )に設定されている。つまり、ペーストの溶融によって接合バンプ1を形成する際に、球状になろうとする合金の頂部が平面23cに接することで、接合バンプ1の頂部の高さを所定値に規制するような値に設定されている。そして、基板103に平坦化治具23を載置した状態で、前述のリフロー処理を施すことにより、頂部が平坦な接合バンプ1が得られる。

【0046】なお、上記平坦化治具23に代えて、図12に示す平坦化治具161を使用することもできる。該治具161は、平板状の規制部材163とその下面側に配置された左右一対の脚部165とから構成されている。規制部材163は、例えばアルミナセラミック板であり、片面(半田バンプの頂部を平坦にする面;図12(a)における下面)が平面研磨されている。この平面研磨された面163aには、左右の端から所定距離だけ離れた位置に溝163bがそれぞれ設けられている。また、脚部165は、溝163bに沿って半埋設状に嵌められた細線であり、例えば丸棒状のステンレス線によ

り構成されている。なお、ステンレス線の両端は、図12(c)に示すように、規制部材163から外れないように上方内側に向けてコの字状に曲げておくといよい。こうして、溝163bに脚部165を嵌め込んだ構成とすることにより、脚部165を平面163aからわずかに突出させることができ、これによって規制部材163と配線基板との間隔、すなわち接合パンプ1の高さをその突出高さに設定することができる。

【0047】上記平坦化治具161は、規制部材163と脚部165とが別体であるので、難加工材料のアルミナセラミックからなる平板を脚部165が突出する形状に加工する必要がなく、ひいては単に溝163bを形成するだけでよいので、その加工が容易である。特に、上記実施例の場合は、接合パンプの頂部を押圧する面163aが板材の平面であるので、その面163aを平面にする加工が容易であり、しかもその平面度が高い。そのため、接合パンプ1のコーポラナリティを小さくすることができる。

【0048】(実施例3) 接合パンプ1は、固相形成金属部と、該固相形成金属部よりも熔融開始温度の低い液相形成金属部とが互いに混合した構造を有し、接合温度において、液相形成金属部の少なくとも一部が熔融して液相を形成するものとして構成することができる。具体的には、図13に示すように、固相形成金属部としての多数の金属粒子201と、それら金属粒子同士の隙間を充填する液相形成金属部としての結合金属部203とを有する複合材料204により構成することができる。

【0049】結合金属部203は、接合温度、すなわち200～220℃において速やかに熔融して十分な量の液相を発生できる材質で構成され、例えばSnを50～80重量%含有する合金、より具体的には、共晶組成を有するSn-Pb二元合金(Sn-38.1重量%Pb:以下、共晶半田という)が使用されている。一方、金属粒子としては、結合金属部203を構成する共晶半田とぬれ性のよい材質で構成されたもの、例えばPb、Cu及びAgの少なくとも一つを主体に構成された1種又は2種以上の金属粒子が使用されている。なお、本実施例では金属粒子201として、Pb金属、あるいはSnの含有比率が10重量%以下であるPb-Sn二元合金(以下、両者を総称して高融点半田という)の粒子、あるいはCu粒子が使用されるものとするが、Ag-Cu合金(例えばAg-Cu共晶合金)の粒子等も使用可能である。

【0050】次に、金属粒子201の表面には、これに沿うように、結合金属部203の成分の一部と金属粒子201の成分の一部とを含有する合金層202が形成され、その合金層202を介して金属粒子同士201が互いに結合されて、例えば三次元網目状の骨格構造を形成している。例えば、結合金属部203が共晶半田で構成され、金属粒子201が高融点半田で形成される場合

は、この合金層202は共晶半田と高融点半田との中間のSn組成を有するPb-Sn合金となる。一方、金属粒子201がCuで構成される場合は、PbとCuとがほとんど固溶しあわないことから、Cu及びSnを主体とする合金となる。

【0051】また、金属粒子201の含有量は、200～220℃の温度域において、固相の存在比率が20～95重量%、望ましくは40～70重量%となるように調整される。この場合、結合金属部203は、共晶半田で構成されていることから、200～220℃の温度域ではほぼ全体が液相となるので、合金層202の合計体積がそれほど大きくないと推定される場合には、金属粒子201の含有量自体を20～95重量%、望ましくは40～70重量%の範囲で調整するのがよい。

【0052】さて、上述のような接合パンプ1はソルダペースト法により形成することができるが、その工程は実施例2の配線基板の接合パンプとほぼ同様であるので説明は省略する。この場合、使用するペーストは、前述の金属粒子となるべき高融点半田粒(例えば、Pb-5重量%Sn;液相線温度約314℃、直径約30μm)、あるいはCu粒(例えば、直径約30μm)と共晶半田粒(例えば、直径約30μm)とを前述の比率となるように混合したものの50体積%に対し、フラックスを50体積%混合したものが使用される。

【0053】図14はリフロー処理の進行過程を模式的に示したものである。すなわち、処理温度に加熱すると、ペースト中の金属粒子201は固体のままであるが、共晶半田粒250はそのほとんどが融解して液相Lとなり、この液相Lによって金属粒子201とパッド17とが結合される。ここで、金属粒子201が高融点半田で構成されている場合、図15(a)に示すように、共晶半田が融解してできた液相Lと、Pbを主体とする高融点半田で構成された金属粒子201との間では、Sn濃度が前者において高く、Pb濃度が後者において高くなることから、金属粒子201側から液相L側へPbが拡散し、液相L側から金属粒子201側へSnが拡散して、同図(b)に示すように金属粒子201の周囲には、Snの含有量が共晶組成よりもPb側へずれた、換言すればPb濃度の高くなった液相部分L'が生じる。そして、Pb濃度が高くなれば、図2の状態図からも明らかな通り液相線温度が上昇することから、同図(c)に示すように、該Pb濃度が一定以上になるとこれが凝固して合金層202となり、これを介して金属粒子201同士が互いに接合されることとなる。なお、金属粒子201がCuで構成されている場合には、金属粒子201から液相L側へCu成分が溶出し、そのCu成分と液相中のSn成分とが反応してCu-Sn系の合金層202が形成される。

【0054】上記配線基板3は、例えば図16(a)に示すように、その接合パンプ1の形成された側に集積回

路チップCを重ね合わせてこれを200～220℃の接合温度に加熱することにより、同図(b)に示すように接合バンプ1はその結合金属部203が再び熔融して液相しを生じ、さらに同図(c)に示すように、その生じた液相しによってチップCとの接合が行われることとなる。ここで、該接合バンプ1は200～220℃においてもそのすべてが液相しとならず、金属粒子201の部分が固相として残存し、しかもそれが合金層202を介して結合して骨格構造を維持していることから、バンプ1の形状維持力が高められており、接合中に集積回路チップ(被接合体)Cと基板103との間でこれが押し潰されたりするトラブルが生じにくい。

【0055】なお、上記接合バンプ1は、実施例1と同様にプレフォーム法によっても作製できる。この場合、例えば金属粒子と、結合金属部を形成するための金属粉末とを所定の比率で混合し、これを成型後焼結するか、あるいは温間押出成型することにより複合材料のブルーームあるいはピレットを作り、これを圧延ないし伸線加工して線材化後、前述の装置49(図4)により切断すれば、該複合材料のプレフォームを作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の接合バンプ付き配線基板の一例を模式的に示す斜視図及び断面図。

【図2】Pb-Sn二元系平衡状態図。

【図3】実施例1の配線基板のバンプに使用される合金の凝固過程を示す説明図。

【図4】プレフォームを作製してこれを基板上に載置するための装置の要部を概念的に示す図。

【図5】その作用説明図。

【図6】プレフォームを基板に接合する工程を示す説明図。

【図7】実施例1の配線基板に集積回路チップを接合する工程を示す説明図。

【図8】凹版を用いてソルダーペースト法により接合バンプを形成する工程の説明図。

【図9】リフロー処理中のペーストの状態変化を示す説明図。

【図10】メタルマスクを用いてソルダーペースト法により接合バンプを形成する工程の説明図。

【図11】その平坦化治具を併用した例を示す工程説明図。

【図12】平坦化治具の変形例を示す図。

【図13】実施例3の配線基板の接合バンプに使用される複合材料の組織を示す模式図。

【図14】実施例3の配線基板の接合バンプの製造工程を示す説明図。

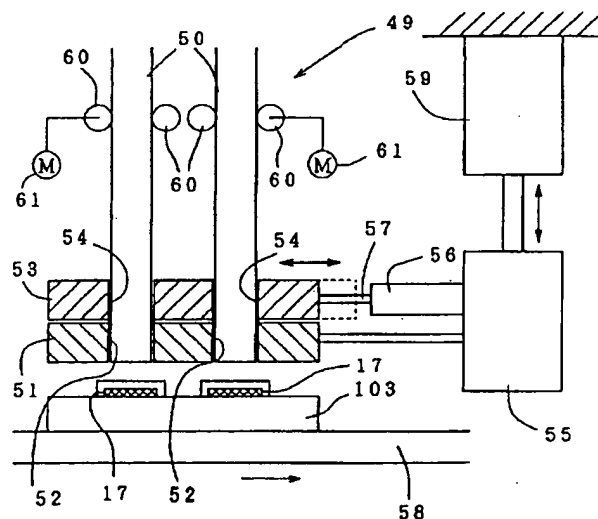
【図15】合金層の形成過程を示す説明図。

【図16】実施例3の配線基板に集積回路チップを接合する工程を示す説明図。

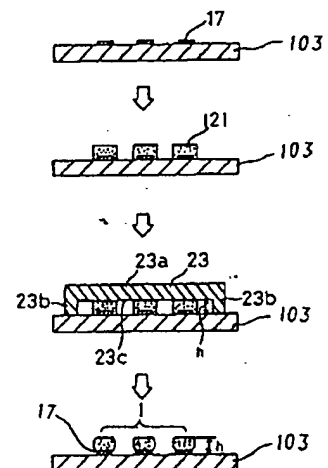
【符号の説明】

- 1 接合バンプ
- 3 配線基板
- 103 基板
- L 液相
- S 固相
- 201 金属粒子
- 202 合金層
- 203 結合金属部

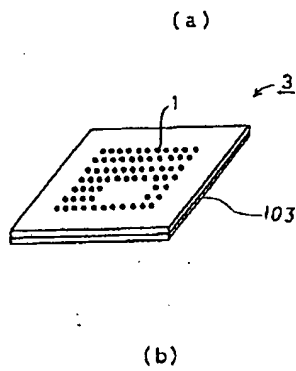
【図4】



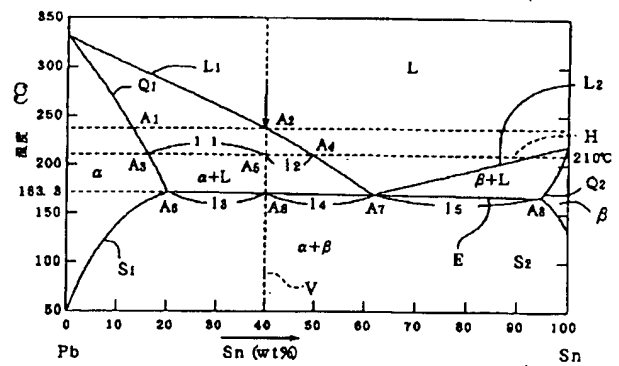
【図11】



【図1】



【図2】



パンプ合成組成 Pb-40wt%Sn

210°Cでの相比率

$$\alpha = \frac{l_2}{l_1 + l_2} \times 100 \quad (\text{wt}\%)$$

$$L = \frac{l_1}{l_1 + l_2} \times 100 \quad (\text{wt}\%)$$

共晶点 (183.3°C) での相比率

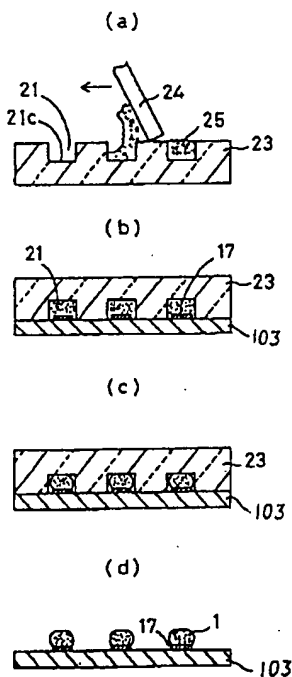
$$\text{初晶 } \alpha = \frac{l_4}{l_3 + l_4} \times 100 \quad (\text{wt}\%)$$

$$\text{共晶 } (\alpha + \beta) = \frac{l_5}{l_3 + l_4} \times 100 \quad (\text{wt}\%)$$

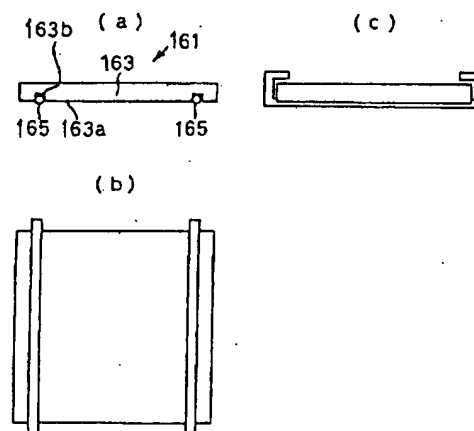
$$\text{共晶中の } \alpha = \frac{l_5}{l_3 + l_4} \times \frac{l_6}{(l_3 + l_4) + l_5} \times 100 \quad (\text{wt}\%)$$

$$\text{共晶中の } \beta = \frac{l_5}{l_3 + l_4} \times \frac{(l_3 + l_4)}{(l_3 + l_4) + l_5} \times 100 \quad (\text{wt}\%)$$

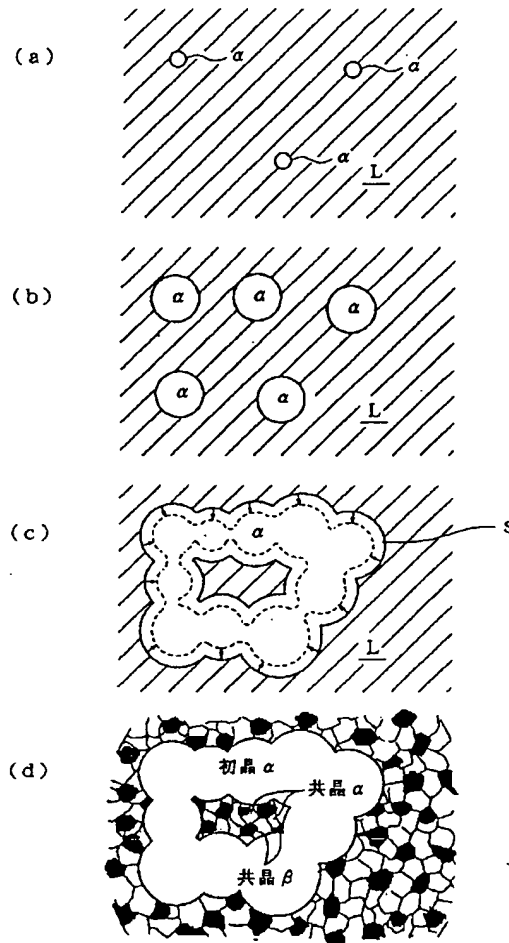
【図8】



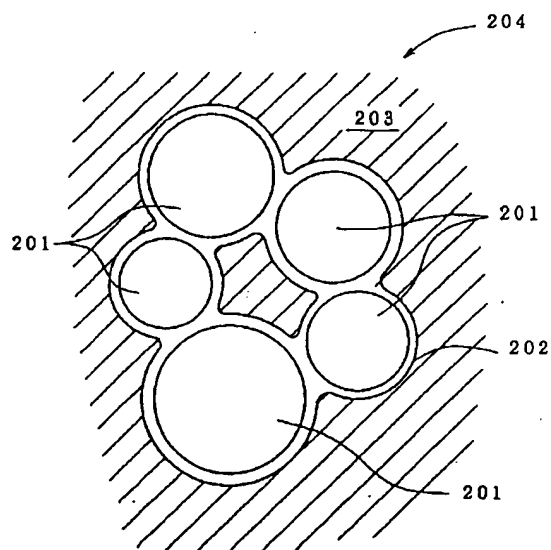
【図12】



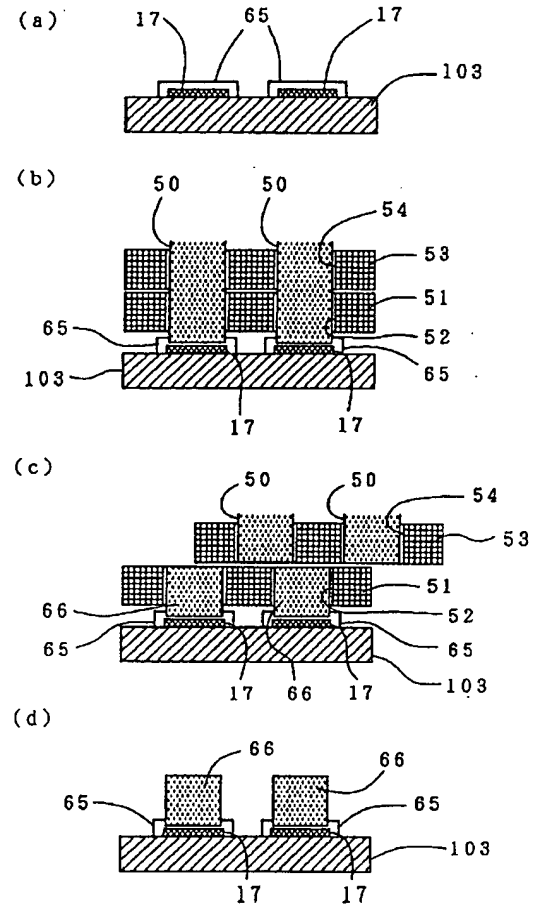
【図3】



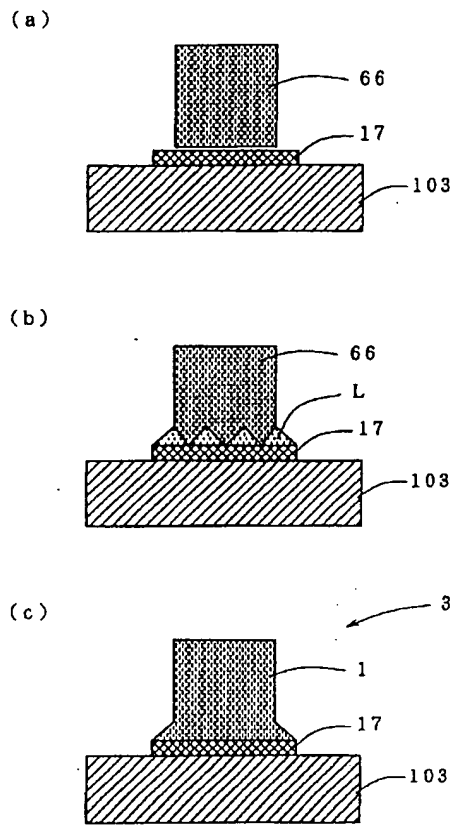
【図13】



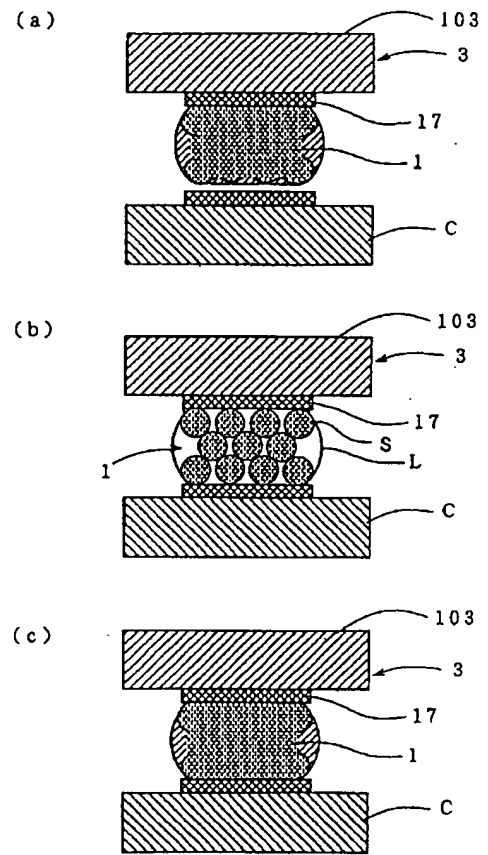
【図5】



【図6】

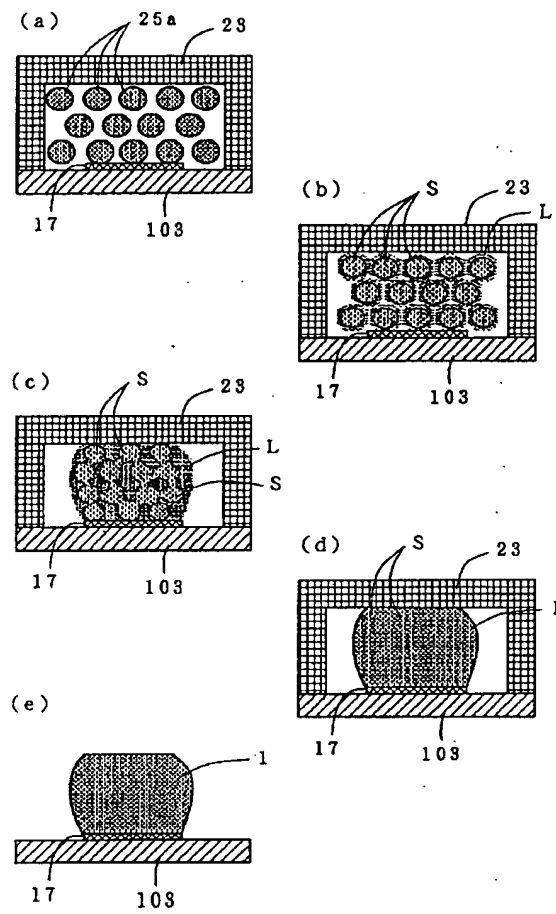


【図7】

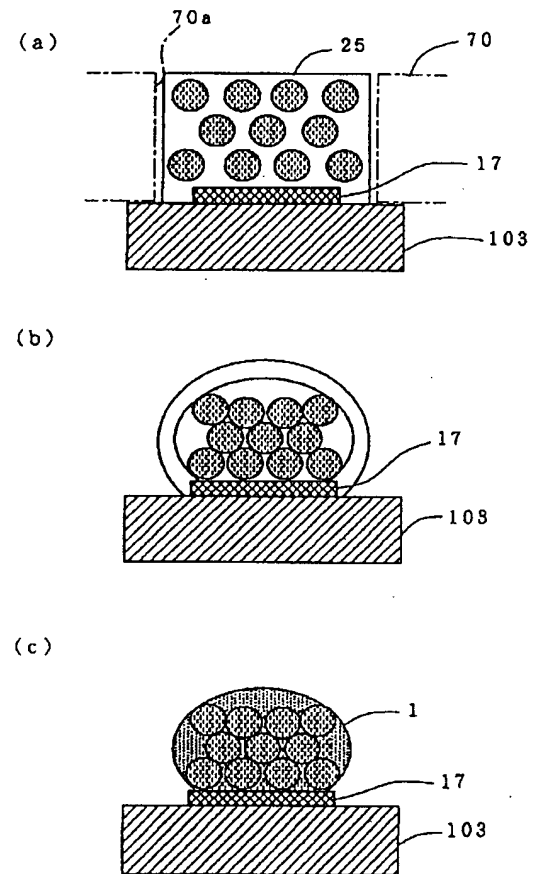




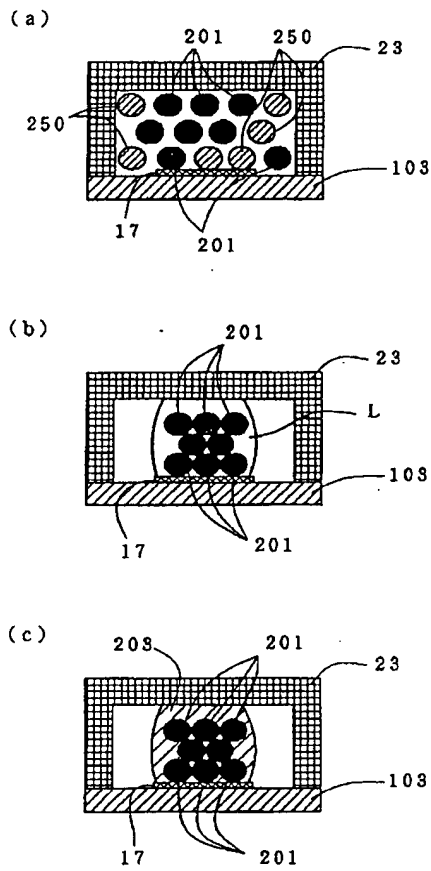
【図9】



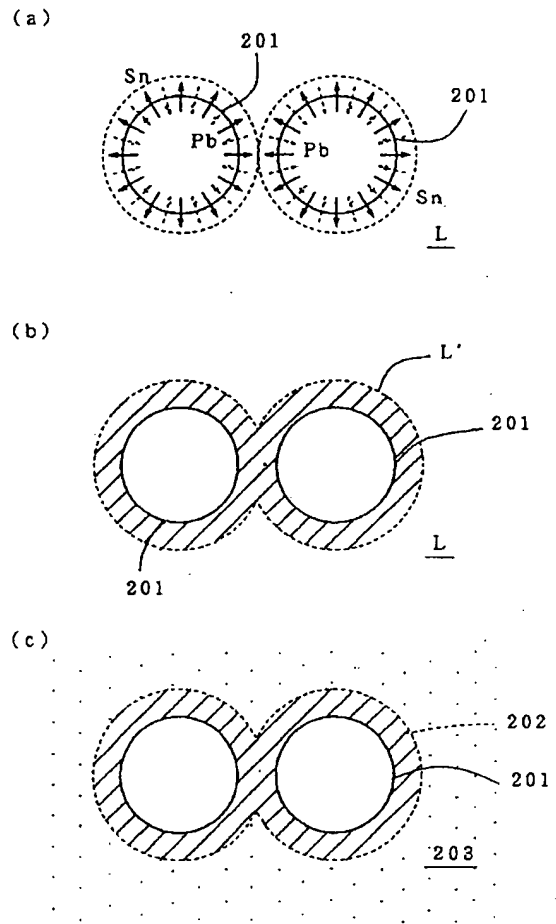
【図10】



【図14】



【図15】



【図16】

